

UNIVERSITÀ DI PISA

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni



Tesi di Laurea

# Valutazione sperimentale di soluzioni di instradamento per Wireless Mesh Networks trasparenti al livello IP

Relatori

Prof. Stefano Giordano

Ing. Rosario G. Garroppo

Ing. Luca Tavanti

Candidato

Alessia Moschini

Anno Accademico 2008-2009

# Indice

<b>Elenco delle Tabelle</b>	<b>v</b>
<b>Elenco delle Figure</b>	<b>vi</b>
<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1 Wireless Mesh Networks</b>	<b>3</b>
1.1 Aspetti generali . . . . .	3
1.2 Architettura di rete . . . . .	3
1.3 Caratteristiche delle WMN . . . . .	7
1.4 Scenari applicativi . . . . .	9
1.4.1 Reti domestiche . . . . .	9
1.4.2 Community e reti di quartiere . . . . .	9
1.4.3 Reti aziendali . . . . .	12
1.4.4 Reti metropolitane . . . . .	12
1.4.5 Sistemi di trasporto . . . . .	13
1.4.6 Building automation . . . . .	15
1.4.7 Sistemi di sorveglianza . . . . .	16

1.4.8	Sistemi di emergenza . . . . .	16
1.5	Routing nelle WMN . . . . .	16
1.5.1	Caratteristiche del routing nelle reti mesh . . . . .	16
1.5.2	Routing in base al layer . . . . .	17
1.5.3	Categorie di protocolli di routing per WMN . . . . .	19
1.5.3.1	Protocolli di routing PREVENTIVI . . . . .	19
1.5.3.2	Protocolli di routing REATTIVI . . . . .	20
1.5.3.3	Protocolli di routing IBRIDI . . . . .	21
<b>2</b>	<b>Protocolli di routing di livello 2</b>	<b>23</b>
2.1	IEEE 802.11s . . . . .	23
2.1.1	Architettura delle WLAN Mesh . . . . .	24
2.1.2	Architettura secondo IEEE 802.11s . . . . .	25
2.1.3	Mesh header field . . . . .	27
2.1.4	Six-address scheme . . . . .	28
2.1.5	Internetworking . . . . .	29
2.1.6	Path Selection . . . . .	32
2.1.6.1	Airtime link metric . . . . .	32
2.1.7	HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) . . . . .	33
2.1.8	Modalità di selezione del percorso on-demand . . . . .	35
2.1.9	Modalità proactive tree building . . . . .	37
2.1.9.1	Proactive PREQ . . . . .	37
2.1.9.2	Proactive RANN . . . . .	38
2.1.10	Propagazione di HWMP . . . . .	39

2.1.10.1	HWMP Sequence Number . . . . .	39
2.1.11	Information Element (IE) . . . . .	41
2.1.11.1	Path Request (PREQ) . . . . .	41
2.1.11.2	Path Reply (PREP) . . . . .	43
2.1.11.3	Path Error (PERR) . . . . .	45
2.1.11.4	Root Announcement (RANN) . . . . .	45
2.2	OLPC (One Laptop Per Child) . . . . .	46
2.2.1	Mesh Path Selection e Forwarding . . . . .	46
2.2.1.1	Meccanismo di Path Discovery . . . . .	47
2.2.2	Prove sperimentali . . . . .	49
<b>3</b>	<b>TESTBED 802.11s</b>	<b>51</b>
3.1	Topologia composta da due nodi . . . . .	51
3.1.1	Mesh Path Selection . . . . .	52
3.1.2	Ping . . . . .	60
3.2	Topologia ad anello . . . . .	63
3.2.1	Mesh Path Discovery . . . . .	64
3.3	Traffico UDP . . . . .	74
3.3.1	Effetto ping-pong . . . . .	78
3.3.2	Abbattimento e ripristino di un nodo . . . . .	80
3.4	Ulteriori testbed . . . . .	80
3.4.1	Nodi distanti . . . . .	81
3.4.2	Nodi vicini . . . . .	82

<b>4</b>	<b>MCL (Mesh Connectivity Layer)</b>	<b>96</b>
4.1	Route Discovery e Route Maintenance . . . . .	99
4.2	Informazioni e statistiche . . . . .	100
4.3	Prove sperimentali . . . . .	105
4.3.1	Traffico UDP . . . . .	107
4.3.2	Traffico FTP . . . . .	111
4.3.3	Abbattimento e attivazione di un nodo . . . . .	112
	<b>Conclusioni</b>	<b>118</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>120</b>
	<b>Ringraziamenti</b>	<b>122</b>

# Elenco delle tabelle

4.1	Tempi di abbattimento del nodo intermedio e ripristino del percorso.	117
4.2	Tempi di attivazione dell'altro nodo intermedio e valutazione del per- corso. . . . .	117

# Elenco delle figure

1.1	Infrastructure/Backbone WMN. . . . .	5
1.2	Client WMN. . . . .	6
1.3	Hybrid WMN. . . . .	6
1.4	Esempio di WMN per la creazione di reti domestiche. . . . .	10
1.5	Esempio di WMN per la creazione di una rete di quartiere. . . . .	11
1.6	Esempio di WMN per reti aziendali. . . . .	13
1.7	Esempio di WMN per reti metropolitane. . . . .	14
1.8	Esempio di WMN per sistemi di trasporto. . . . .	14
1.9	Esempio di WMN per building automation. . . . .	15
2.1	Architettura di una WLAN. . . . .	25
2.2	Componenti a architettura dell'IEEE 802.11s. . . . .	27
2.3	Formato del campo Mesh header. . . . .	27
2.4	Principio di mappatura degli indirizzi. . . . .	29
2.5	Dettaglio degli indirizzi MAC per una comunicazione tra una stazione 802.11 interna alla mesh e una su una LAN esterna. . . . .	30
2.6	Modello di riferimento per WLAN mesh internetworking. . . . .	31
2.7	Internetworking tra rete Mesh L2 e LAN 802. . . . .	31

2.8	Metrica relativa a OLPC. . . . .	48
2.9	Esempio di scelta del percorso per OLPC. . . . .	48
3.1	Ping tra due nodi. . . . .	61
3.2	Topologia ad anello composta da quattro nodi. . . . .	64
3.3	Diagramma temporale dei messaggi di <b>action</b> . . . . .	74
3.4	Throughput in [Mb/s] sui due percorsi con parametri di default estratto da due prove distinte. . . . .	79
3.5	Quantità di traffico sui due percorsi estratta da due prove distinte variando <b>mesh-hwmp-active-path-timeout</b> : 30TU in [a] e 50TU in [b].	85
3.6	Throughput in [Mb/s] sui due rami con parametri di default. . . . .	86
3.7	Traffico con nodo abbattuto e poi ripristinato in [pkt/s]. . . . .	86
3.8	Cammini effettuati dai pacchetti nel corso delle prove. . . . .	86
3.9	Throughput in [Mb/s] del traffico UDP sui vari percorsi. . . . .	87
3.10	Throughput in [Mb/s] del traffico TFP sui vari percorsi. . . . .	88
3.11	Topologia di riferimento. . . . .	89
3.12	Throughput in [Mb/s] del traffico FTP [a] e UDP [b] sui vari percorsi.	90
3.13	Esempio di trasmissione UDP senza interruzioni di comunicazione. . .	91
3.14	Caso di abbattimento nodo intermedio durante la trasmissione FTP. .	91
3.15	Throughput in [Mb/s] del traffico FTP sui vari percorsi. . . . .	92
3.16	Throughput in [Mb/s] del traffico UDP sui vari percorsi. . . . .	93
3.17	Throughput in [Mb/s] del traffico TCP sui vari percorsi. . . . .	94
3.18	Throughput in [Mb/s] del traffico UDP sui vari percorsi. . . . .	95
4.1	Stack protocollare della soluzione intermedia . . . . .	97



4.2	Byte contenuti nel pacchetto MCL. . . . .	108
4.3	Topologia di riferimento. . . . .	109
4.4	Percorso tra sorgente e destinatario nel testbed di riferimento. . . . .	109
4.5	Throughput in [Mb/s] sui singoli link. . . . .	110
4.6	Topologia di riferimento e throughput del traffico UDP sui relativi link.	111
4.7	Topologia di riferimento e throughput relativo del traffico FTP in [Mb/s] sui singoli link. . . . .	113
4.8	Topologia di riferimento e throughput relativo del traffico FTP in [Mb/s] sui singoli link. . . . .	114
4.9	Topologia di riferimento. . . . .	115
4.10	Abbattimento nodo a t=40s. . . . .	116
4.11	Attivazione nodo a t=31s. . . . .	116

*A mio zio Osvaldo*

# Introduzione

Le Wireless Mesh Networks (WMNs) stanno emergendo come una promettente tecnologia per la creazione di reti a larga banda in grado di offrire una copertura capillare. Le applicazioni tipiche vanno dall'accesso ad Internet da casa, alle comunità di utenti, alle Wireless MAN. Le WMN hanno catturato l'interesse oltre che del mondo universitario anche di quello industriale grazie alla facilità di implementazione e ai costi ridotti. Una WMN è un tipo di rete in grado di fornire connettività wireless ad un numero elevato di utenti in modo flessibile ed economico. Molte aziende sono attualmente attive in questo settore con soluzioni proprietarie in gran parte basate sulla famiglia di standard IEEE 802.11. Allo stesso tempo, ci sono notevoli sforzi nel mondo accademico per fornire prototipi reali e testbed basati su software open source e tecnologie standard.

Con questo lavoro di tesi vogliamo studiare il comportamento delle WMN in funzione di varie soluzioni di instradamento trasparenti al livello IP. Le misure riscontrate sui testbed possono essere sfruttate dalla comunità scientifica per valutare le prestazioni dei nuovi protocolli sviluppati fornendo importanti indicazioni per la progettazione di soluzioni innovative.

Nel primo capitolo verranno introdotte la struttura e le peculiarità delle WMN; ci si riferirà inoltre al routing delle WMN considerando le differenze a seconda del livello di routing trattato (livello 3, 2.5 o 2) e le caratteristiche dei protocolli di routing. Nel secondo capitolo verranno presentate due soluzioni di livello 2: il Gruppo di lavoro 802.11s e OLPC (One Laptop Per Child). Nel terzo verranno esposti i risultati estratti da diversi testbed svolti per verificare se quanto descritto nel draft 802.11s corrisponde

con quello che effettivamente accade. Nel quarto ed ultimo capitolo verrà presentata la soluzione a livello 2.5 MCL (Mesh Connectivity Layer) proposta da Microsoft seguita dai relativi risultati riscontrati nei test effettuati.